



Det Bornholmske el-system

Modeldannelse og kortlægning af driftsmønstre

Nielsen, John Eli

Published in:
Elteknik

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, J. E. (2009). Det Bornholmske el-system: Modeldannelse og kortlægning af driftsmønstre. *Elteknik*, 11, 18-21. <http://www.techmedia.dk/>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Det Bornholmske el-system

Modeldannelse og kortlægning af driftsmønstre

Af Civiling. Ph.D. Vladislav Akhmatov, Civiling. Ph.D. John Eli Nielsen Center for Elteknologi, Danmarks Tekniske Universitet

Elsystemet på Bornholm, som skematisk er vist i figur 1, består af et formasket 60 kV net samt et radialt 10 kV og 0.4 kV net. Nettet ejes og drives af distributionselskabet Østkraft.

Interessant system

Via et 60 kV søkabel og en 135/60 kV transformer er det bornholmske elsystem forbundet til det sydsvenske 135 kV transmissionsnet. Elproduktionen på Bornholm er fordelt på termiske, biogas og vindkraft anlæg.

Vindkraft producerer i runde tal 30 procent af elforbruget [1]. I relation til areal, befolkningstal, elforbrug udgør Bornholm ca. 1 procent af Danmark. Det Bornholmske elsystem besidder mange af det danske elsystems generelle karakteristika.

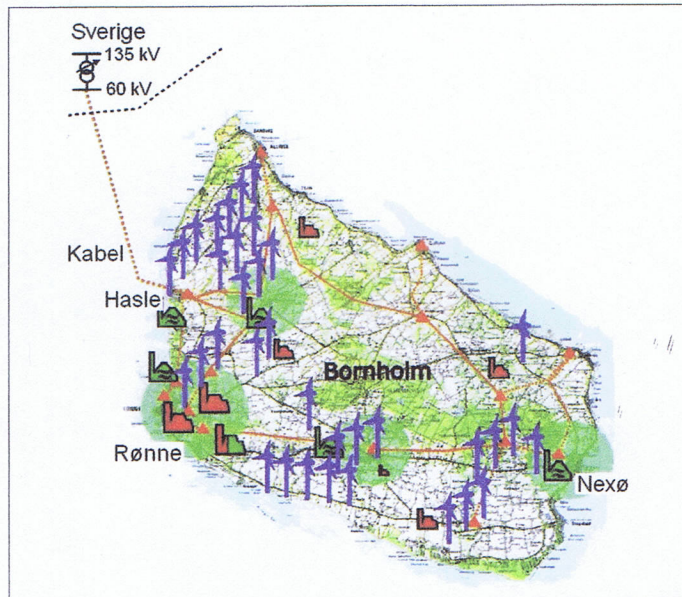
På et punkt er det dog forskelligt fra det øvrige danske net, idet det har bevaret evnen til at foretage en planlagt overgang til ø-drift, når for eksempel kablet til Sydsverige tages ud af drift. En yderligere nettilslutning af 20 MW vindkraft på Bornholm, vil betyde at ca. 50 procent af elforbruget kunne produceres på vindkraftanlæg.

Dette er regeringens mål for 2025 [2].

Nettilslutning af mellem 70 og 100 MW havbaseret vindkraft er tillige foreslået. Alt dette gør at elsystemet er interessant for forskning og demonstration af projekter med integration af vindkraft og andre vedvarende energikilder som mål.

Modeldannelse

For at kunne udføre analyser af netdrift (statisk) og stabilitet (dynamisk) med pålidelige resultater, skal der opbygges en valideret



Figur 1: Skematisk repræsentation af elsystemet på Bornholm.

model af det bornholmske elsystem.

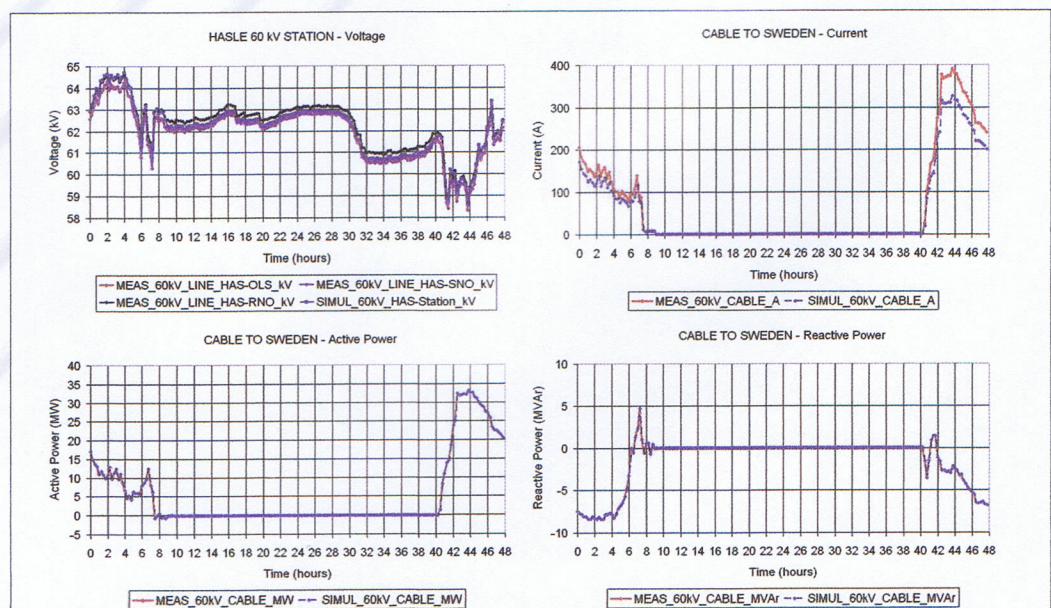
Kravet om modelvalidering betyder at modellen er testet op imod målinger og reproducerer kendte og målte driftsmønstre in-

den for rimelige tolerancer. Netanalyser med en sådan model vil kunne afklare konsekvenserne af en yderligere tilslutning af vindkraft til det bornholmske elsystem og resultere i nødvendige tiltag

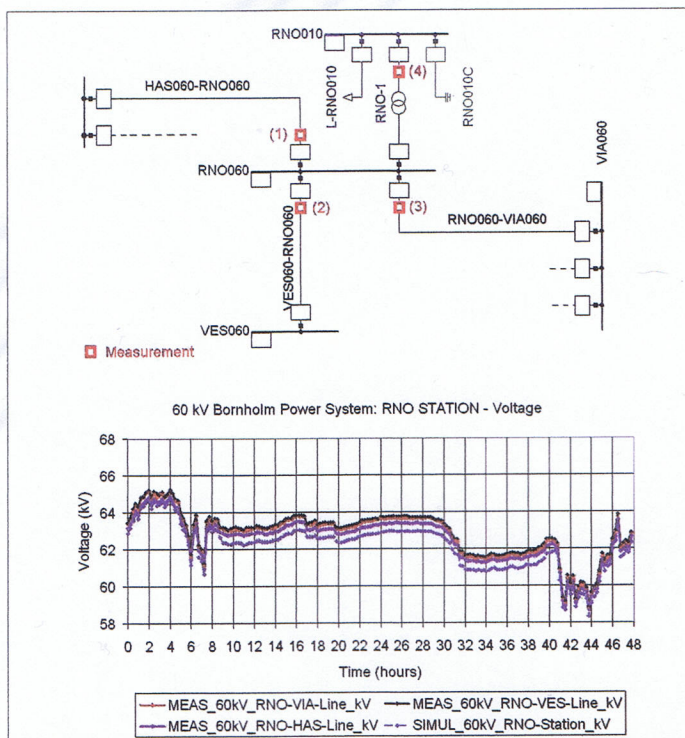
for fortsat stabil og pålidelig netdrift. Center for Elteknologi (CET), Danmarks Tekniske Universitet har i samarbejde med Østkraft og ABB opbygget og valideret en model af det bornholmske elsystem. Modellen kan anvendes til kortlægning af effektfordelingen (loadflow) på et enkelt tidspunkt samt over en periode (driftsmønstre). Modellen er implementeret i beregningsværktøj DlgSILENT PowerFactory.

Modellen består af en elektrisk repræsentation af det formaskede 60 kV net med kabeltilslutning til Sydsverige på 135 kV niveauet, 60/10 kV stationer med transformere, kondensatorbatterier, belastninger og produktioner. Modellen repræsenterer de landbaserede vindmøller ned til deres 0.4 kV tilslutninger.

Derudover har modellen en automatiseret rutine til indstilling af effektfordelingen i det bornholmske elsystem, dvs. effektproduktion, i bl.a. vindmøller, og aktiv og reaktiv belastning under hver 60/10 kV station, spændinger og strømme i 60 kV systemet og udveksling med Sydsverige.



Figur 2: Målte og beregnede spænding (ved nærmeste station Hasle), strøm, aktiv og reaktiv effektudveksling i kablet til Sydsverige i perioden med overgange mellem normal og ø-drift.



Figur 3: Målt og beregnet 60 kV spænding i en given 60/10 kV station i perioden med overgange mellem normal og ø-drift.

Målinger

Spænding, strøm og $\cos(\phi)$ målinger findes på næsten alle 60/10 kV stationer. På een 60/10 kV sta-

tion er der tillige etableret en retningsbestemt måling af aktiv og reaktiv effekt på 10 kV radialniveau. På samtlige 60 kV stationer

er der spændingsmålinger og på visse 60 kV linjer er der strømmålinger (men disse er ikke retningsbestemte).

Udvekslingen med Sydsverige er givet ved retningsbestemte målinger af aktiv og reaktiv effekt, spænding og strøm over 60 kV søkablet.

Algoritmen

Algoritmen læser eksisterende målinger af spænding, strøm og $\cos(\phi)$. Algoritmen indstiller tolerancer og prioriteringer for disse målinger og beregnede størrelser, finder produktion og belastning under hver 60/10 kV station og udfører et antal iterationer inden

loadflow løsningen for det samlede elsystem kommer inden for valgte tolerancer.

Algoritmen indstiller først 60/10 kV stationerne med aktiv og reaktiv retningsbestemt produktion og belastning for at matche de målte spændinger, strømme og $\cos(\phi)$, fordi stationsforholdene direkte influerer på effektfordelingen i det formaskede 60 kV elsystem.

Dernæst finder algoritmen løsningen for 60 kV nettet med justeringer på forholdene under stationerne og udvekslingen med Sydsverige.

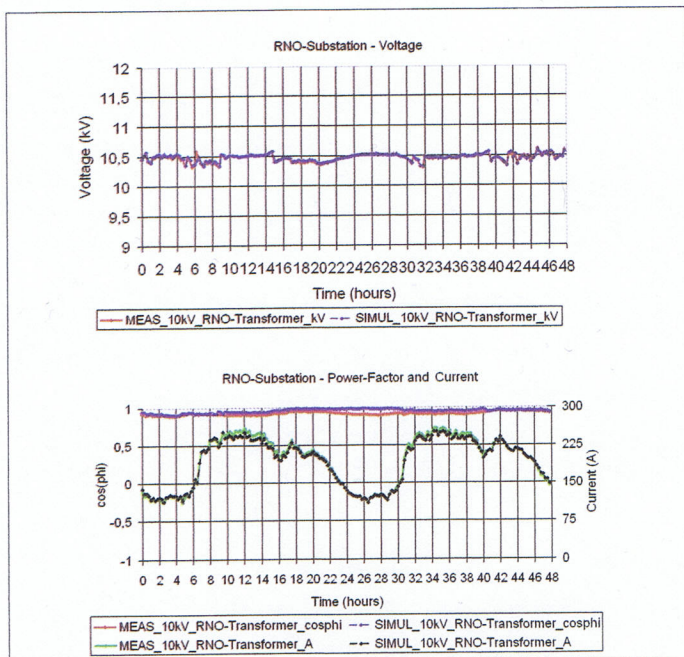
Ved manglede eller suspekte målinger korregerer algoritmen for

Produkter til el-sektoren?

www.eatonelectric.dk

EATON

Powering Business Worldwide



Figur 4: Målte og beregnede spænding, strøm og $\cos(\phi)$ på 10 kV niveauet under en given 60/10 kV station i perioden med overgange mellem normal og ϕ -drift.

disse, men der bør etableres flere pålidelige målinger for at opnå bedre modeldannelse og resultat.

Beregningseksempel med ϕ -drift

Det bornholmske systems evne til planlagt at overgå i ϕ -drift og tilbage til normaldrift er svært at undervurdere når det bl.a. drejer sig om studier og viden om elektriske energisystemer med betydelig andel af vindkraft.

Derfor vises her et beregnings-eksempel med modelvalidering, hvor det bornholmske elsystem overgår fra normaldrift til ϕ -drift og tilbage til normaldrift. Resultaterne er en serie loadflow beregninger over to døgn med en opløsning på 15 minutter.

Figur 2 viser spænding i den nærmeste 60 kV station Hasle, samt strøm, aktiv og reaktiv effekt over søkablet. De målte og beregnede værdier er i god overensstemmelse.

Det er valgt at vise spændingen i Hasle fordi spændingsmålingen over søkablet er nul i ϕ -drift og der er ingen effektudveksling mellem Hasle og søkablet i ϕ -drift.

Figur 3 viser 60 kV spænding i en udvalgt 60/10 kV station ved Rønne. Spændingen ved denne station er målt i de tre i figur 3 markerede steder.

Figur 4 viser målinger og beregninger over 60/10 kV stations-transformeren, hvilket repræsenterer forholdene i det underliggende 10 kV net i den udvalgte station.

De målte og beregnede størrel-

ser er i rimelig og god overensstemmelse.

Beregningseksempel med vindkraft

Det bornholmske system har en betydelig andel af landbaseret vindkraft. Under visse 60/10 kV stationer er vindkraftandelen så stor at den aktive effektudveksling med det overordnede 60 kV elsystem kan have begge fortegn.

Dvs. i underskud af vind overføres aktiv effekt fra 60 kV ned til 10 kV systemet og i overskud af vind leveres effekten fra 10 kV op til det overordnede 60 kV system.

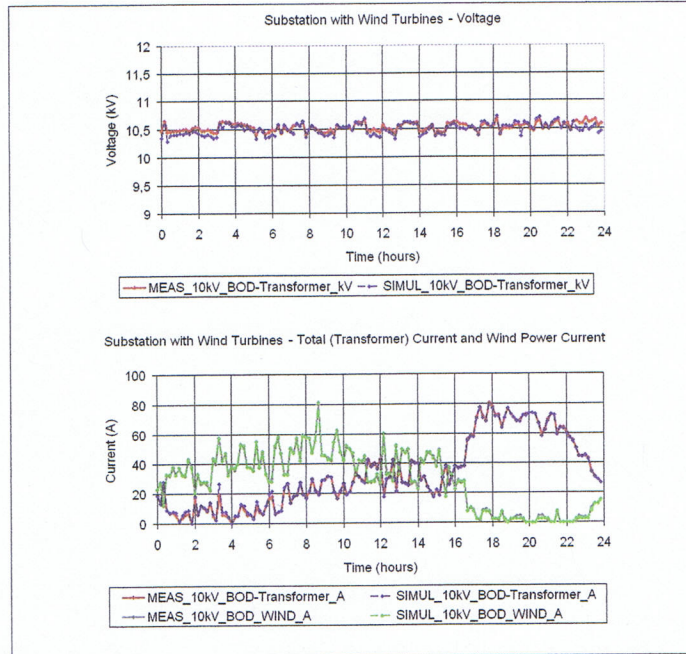
Figur 5 viser spænding og strøm over et døgn med tilstrækkelig vind (og i normaldrift på forbindelsen med Sydsverige) under en 60/10 kV station med tilsluttet vindkraft.

Det skal bemærkes at strømudvekslingen med 60 kV systemet varierer modsat vindmøllestrømmen. Det er fordi vindmøllestrømmen delvis eller fuldt ud dækker stationens aktive belastning.

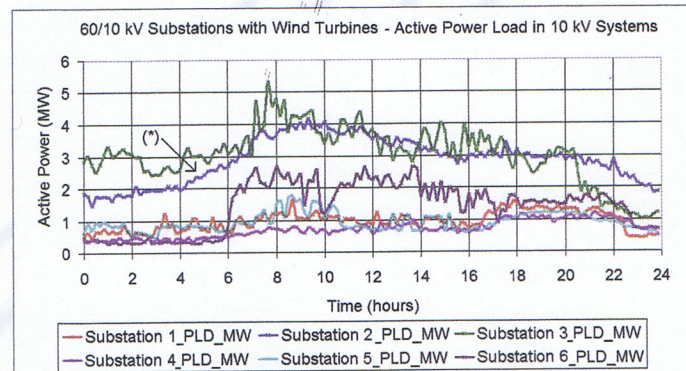
Når belastningen og vindmøllernes effektlevering balancerer hinanden, går stationsstrømmen mod nul. Effektrekning kan ikke alene bestemmes ud fra denne ikke-retningsbestemte strømmåling, da netop information om effekt eller strøm-retnings mangler i målingerne.

Her bliver den udviklede beregningsalgoritme nyttig.

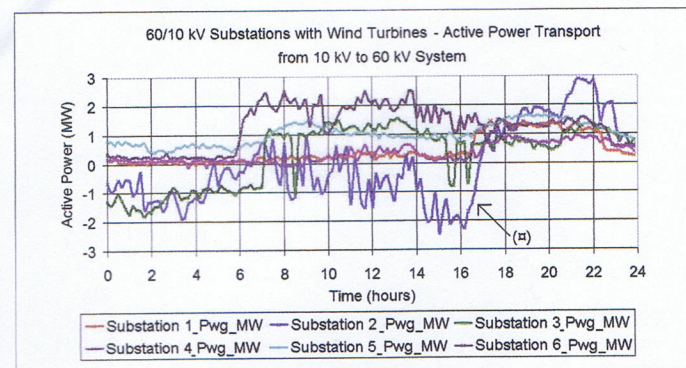
Figur 6 viser de beregnede aktive belastninger under hver 60/10 kV station med tilsluttet vindkraft. Beregningen viser at den aktive effekt fødes ind i 60 kV



Figur 5: Målt og beregnet 10 kV spænding, udvekslingsstrøm og vindmøllestrøm i en given 60/10 kV station med landbaseret vindkraft.



Figur 6: Beregnet aktiv belastning i 60/10 kV stationer med tilsluttet vindkraft. Den beregnede kurve (*) er sammenlignet med målingen i Figur 8.



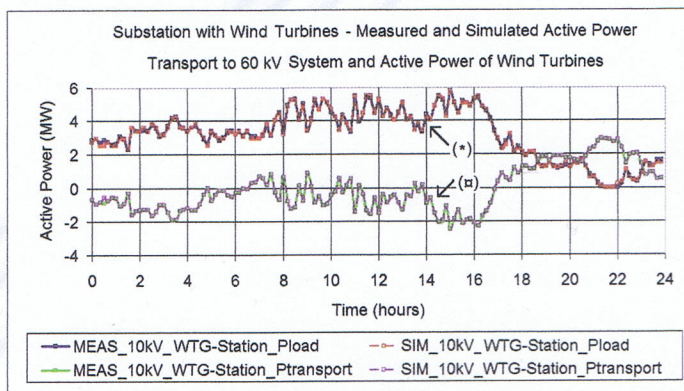
Figur 7: Beregnet aktiv effektudveksling i 60/10 kV stationer med tilsluttet vindkraft. Positiv fortegn betyder import fra 60 kV system og negativ eksport til 60 kV system. Den beregnede kurve (x) er sammenlignet med målingen i Figur 8.

systemet fra det underliggende 10 kV system, i perioder med overskud af effektproduktion i vindmøllerne.

Tilsvarende driftsmønstre er set i det jysk-fynske transmissionssystem, hvor overskudseffekten fra landmøllerne og de decentrale

kraftvarmeanlæg leveres fra distributionsnet ind i det overordnede transmissionsnet [2], [3].

Figur 7 viser de beregnede aktive effektudvekslinger mellem 60 kV og 10 kV systemer under disse stationer. Figur 8 sammenligner måling og beregning af den aktive



Figur 8: Målte og beregnede kurver for (*) – aktiv effekt leveret af vindmøller og (x) – aktiv effektudveksling mellem 60 kV og 10 kV systemer i en 60/10 kV station med landbaseret vindkraft med retningsbestemte effektmålinger på 10 kV radialniveauet.

effekt for den ene af de 60/10 kV stationer med landbaseret vindkraft, hvor de retningsbestemte effektmålinger findes på 10 kV radialniveauet; dette er gjort for at vise at den anvendte algoritme under de rette forudsætninger er tilstrækkelig nøjagtig til estimering af effektfordeling.

Det videre arbejde

Modelopdatering: det bornholmske net kabellægges, dvs. luftlinjer erstattes løbende med landkabler [1]. Denne udskiftning betyder at systemmodellen og netdata tilsva-

rende skal opdateres med tidsstemplede systemstadier til beregninger på historiske driftssituationer og fremtidsscenarier.

Forbedring af målinger: den udviklede algoritme er også brugt til detektering af suspekter målinger. For eksempel har $\cos(\phi)$ målingerne under visse 60/10 kV stationer været uændret i perioder med spænding og strøm-variationer.

Mulige forbedringer er diskuteret med Østkraft. Når målingernes nøjagtighed forbedres og nye målinger etableres, skal algoritmen tilsvarende opdateres. Større vind-

kraftsandel: etablering af mellem 70 og 100 MW havbaseret vindkraft i form af en samlet havmøllepark er foreslået. Derfor skal mulige konsekvenser af sådan vindkrafttilvækst undersøges, for at det bornholmske el-system fortsat er stabilt og pålideligt.

Ø-drift

Ved anvendelse af den udviklede systemmodel kan der bl.a. undersøges og afklares:

- (1) om mere vindkraft giver anledning til flaskehalser i nettet på land og i søkablet til Sydsverige
- (2) om der er etableringsbehov for flere kabler til Sverige
- (3) indflydelse af mere vindkraft på spændings-profiler og -kvalitet, samt etableringsbehov for reaktiv-effekt kompenserende
- (4) effektbalancering på øen, specielt i ø-drift, med kortlægning af driftsregimer for de termiske anlæg
- (5) etablering af fleksibelt elforbrug, for eksempel elbiler, for at kunne balancere vindkraft.

Dynamisk modeldannelse: En dynamisk model er en overbygning til den udviklede statiske model. Denne er i udviklings og validerings-stadiet på CET/DTU. Den udviklede algoritme vil i denne for-

bindelse sørge for en rigtig udgangssituation til historiske scenarier anvendt til dynamiske simuleringer og valideringer.

Overgang til ø-drift og scenarier med meget vindkraft er blandt de absolut relevante for validering af en dynamisk model.

Tak

Tak til medarbejderne hos Østkraft A/S samt ABB. Uden deres hjælp kunne vi ikke skrive denne artikel.

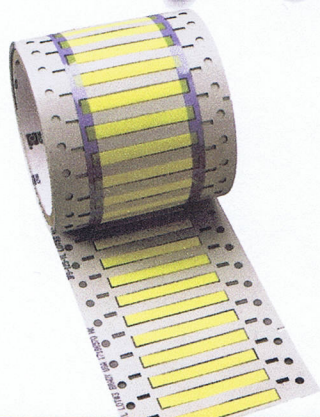
Referencer

- [1] Østkraft Net A/S Annual Report 2007, Østkraft Net A/S, Rønne, Bornholm, Denmark, 2008, 36 p, findes på www.oestkraft.dk.
- [2] P.B. Eriksen, A. Orths, "The Challenge and Solutions of Increasing from 20 to 50 Percent of Wind Energy Coverage in the Danish Power System until 2025", 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 26-28 May 2008, Madrid, Spain, 7 p.
- [3] J. Kaad Jensen, "A balancing act. What demands does wind power make on a grid?", Renewable Energy World, Sept.-Oct. 2002, pp. 57-66

Vladislav Akhmatov er i dag Professor Emeritus og Senioringeniør, Chef Specialist ved Siemens Wind Power

Nu kan du printe på begge sider!

Få en Nintendo wii eller en andesteg og webergrill oven i julehatten



Brady BMP72 double sided

- Den ideelle løsning til print på begge sider
- Udskriver forskellige oplysninger på for- og bagside
- Tidsbesparende
- Formindsker fejl
- Minimal spild
- Termisk overførelse
- Udskriver på fladt krympeflex
- Pladsbesparende design, som kun kræver lille bordplads

FÅ NOGLE FANTASTISKE JULEDAGE MED NINTENDO WII ELLER FÅ JULEMIDDAGEN I HUS. DU KAN VÆLGE MELLEM EN NINTENDO WII ELLER EN ANDESTEG MED TILHØRENDE WEBERGRILL, HVIS DU KØBER EN BMP72 DOUBLE SIDED PRINTER INDEN DEN 22. DECEMBER 2009.

BRADY
WHEN PERFORMANCE MATTERS MOST™

BRADY A/S • Svendborgvej 39B • 5260 Odense S

www.bradynordic.com